

Dynamogeologische Studien

von

Hans Höfer.

(Vorgelegt in der Sitzung am 6. Mai 1910.)

I. Bruchlose Faltung der Gesteine. Zum Mechanismus der Gebirgsbildung.

Wird ein unvollkommen elastischer Körper innerhalb einer bestimmten Grenze deformiert und derselbe sehr lange Zeit so belassen, so tritt ein spannungsloser Zustand ein; die elastische (vorübergehende) Deformation ist in die bleibende übergegangen. Der Körper verhält sich von da ab, als hätte er ursprünglich eine kleinere Deformierung erlitten, weshalb er neuerdings weiter deformiert werden kann. Dies kann in Intervallen fortgesetzt und so der Körper weit über seine ursprüngliche Deformationsfähigkeit gebogen werden.

Daraus folgt auch, daß in dem Begriffe Deformationsfähigkeit ein neuer Faktor, »die Zeit«, eingefügt werden muß, was insbesondere vom geologischen Standpunkte von großer Bedeutung ist.

Erfolgt eine Deformation so allmählich, daß hierbei die Moleküle immer wieder Zeit finden, ins spannungslose Gleichgewicht zu kommen, so kann diese Umformung die weitesten Grenzen erreichen.

Zur Aufklärung der Schichtenfaltung steht uns jedoch Zeit in reichlichem Maße zur Verfügung. Je größer die ursprüngliche Deformationsfähigkeit eines Gesteines ist und in je kürzerer Zeit die Moleküle in den spannungslosen Gleichgewichtszustand übergehen, desto rascher und vollkommener können bruchlose Schichtenbiegungen vor sich gehen.

Wenn die Schnelligkeit, mit welcher die Deformation fortschreitet, größer ist als jene, mit welcher das Material die ihm

durch die Deformation erteilten Spannungen wieder verliert, so erfolgt Bruch. Die Umbiegung der Schichten in unmittelbarer Nähe des entstandenen Risses ist eine lokale Dehnungserscheinung, wie solche dem Bruche stets vorauszugehen pflegt.

Diese Betrachtungen erklären auch die wiederholt beobachtete und meines Erachtens bisher noch nie befriedigend erklärte Tatsache, daß in ein und derselben Faltung manche Schichten bruchlos gebogen, andere jedoch — man sagt, die spröderen Gesteine — zerrissen sind; diese letzteren können jedoch in einem anderen Faltungsgebiete, in welchem die Deformation langsamer vor sich ging, bruchlos gebogen sein.

Verwerfungen in einem System gleichartiger, gebogener Schichten markieren sekundäre Spannungen, welche bei der Biegung örtlich auftraten, d. h. Stellen, an welchen die Deformation eine andere als an den gefalteten Stellen des Schichtensystems war. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, in welcher Art die Beanspruchung des Materials, des Gesteines erfolgte. Dieses hat für Biegung einen größeren Festigkeitskoeffizienten als für Zug; wo sich letzterer innerhalb der deformierten Masse, wie z. B. bei den überkippten Schenkeln der Falten, einstellte, konnte ein Riß (Bruch) erfolgen, während die Schichtenbiegung ganz bruchlos weiter fortschreiten konnte. Verwerfungen markieren somit jene Flächen im gefalteten Gebirge, in welchen während der Deformierung Zugspannungen relativ rasch auftraten.

Die Zahl der Verwerfungen in gleichen Volumen zweier gleicher Schichtenkomplexe wäre somit auch ein relatives Zeitmaß für die Dauer der Deformation, falls diese da wie dort die Biegung in gleichem Maße bewirkte.

Geschichtete Gesteine gestatten eine leichtere Verschiebung der Teilchen als die massigen, weshalb erstere bruchlos gefaltet werden konnten, während die letzteren zerbarsten.

Ein anderer wichtiger Faktor, der bei der bruchlosen Schichtenfaltung mitwirkte, ist der Druck, unter welchem die deformierten Schichten insbesondere durch das Gewicht der auflastenden Gesteinsmasse stand.

Wird ein unbelasteter Körper, z. B. eine Platte, gebogen, so können an der Stelle eines Buges infolge der sich in ihm

entwickelnden Zugspannung Risse entstehen; hierbei sind die Elastizitätseigenschaften und die Dicke der Platte sowie der Grad des Buges (Krümmungsradius der Biegung) von Einfluß.

Wird jedoch dieselbe Platte in einem unter hohen Druck stehenden Medium gebogen, so würde die Wirkung der algebraischen Summe von Druck und Zug — dieser negativ gerechnet — entsprechen. Fällt diese Summe positiv aus, d. h. ist der Druck größer als der Zug, so können in den Biegungen keine Risse entstehen.

Damit ist auch die Erklärung für den Kick'schen Versuch gegeben, der trotz seiner großen Bedeutung für die Erklärung der bruchlosen Faltung in Geologenkreisen nur wenig bekannt zu sein scheint, weshalb ich ihn kurz erwähne.

F. Kick¹ schloß Marmorzylinderchen in knapp passende Hüllen aus Eisen und füllte die Zwischenräume mit Wasser aus. Das Ganze wurde gebogen, wobei sich nachher zeigte, daß die Marmorzylinderchen bruchlos gebogen waren. Kick sagt: »Die Deformation des Marmors fand hierbei so statt, als wäre derselbe eine plastische Masse gewesen, und nach dem Zerschneiden war ersichtlich, daß derselbe seine ursprünglichen Eigenschaften nicht geändert hatte.«

Auch das Biegen des Holzes in den sogenannten gebogenen Holzmöbeln ist ein ganz analoges Experiment der Technik. »Das Biegen der Holzlatte erfolgt über eine eiserne Form, wobei an der Außenseite der zu biegenden Latte ein Bandeisen angelegt und mitgebogen wird, damit die gespannte Faser Stützung findet und Einreißen oder Spalten vermieden wird.«²

In beiden Fällen wirken die knapp anliegenden Umhüllungen als Druck auf den eingeschlossenen Gegenstand und die durch Zug bedingten Risse werden hintangehalten, da der Druck größer als der Zug ist.

Beim Biegen des Holzes kann man weder einen plastischen Zustand noch einen kataklastischen Bruch mit nachträglicher Verkittung annehmen. Die erwähnten Versuche beweisen, daß

¹ Das Gesetz der proportionalen Widerstände, Leipzig 1885, p. 76.

² F. Kick: Vorlesungen über mechanische Technologie, 2. Auflage, Wien 1908, p. 358.

sich verschiedene Materialien unter großem Druck bruchlos, d. h. weit über ihre Elastizitätsgrenze deformieren lassen; es scheint dies eine allgemeine Eigenschaft der Körper zu sein, zu deren Erklärung es nicht notwendig ist, besondere innere Vorgänge anzunehmen, ebensowenig als bei der Deformierung innerhalb geringer Grenzen.

II. Die sogenannten fossilen Regentropfen.

Vor Jahren hatte ich durch mehrere Monate auf meinem Schreibtisch eine kleine Flasche in fast steter Beobachtung, in welcher sich der Bohrschmant aus einer Erdölbohrung und darüber eine fast gleich hohe (3 *cm*) Schicht klaren Wassers befand. Ich sah da wiederholt von Zeit zu Zeit ein Gasbläschen aus dem Schlamme sich allmählich empordrängen und, an der Schmantoberfläche angelangt, sich vertikal verlängern. Als die Höhe etwa dreimal so groß wie der Durchmesser war, stieg das Bläschen durch das Wasser auf und zerplatzte.

Auf der Oberfläche des Schmants war an der Bläschenstelle eine kreisrunde vertiefte Narbe mit einem zusammenhängenden kleinen Wall entstanden, welche schätzungsweise 3 bis 4 *mm* Durchmesser und geringere Tiefe hatte. Sie waren den sogenannten fossilen Regentropfen in Form und Verteilung vollends gleich, weshalb ich dieselben in meinen Vorträgen als fossile Gasnarben erklärte.

Auch in dem ausgegossenen breiigen Schmant bei den Erdölbohrungen, über welchen kein Wasser stand, konnte ich wiederholt solche Blasenspuren beobachten; sie können sich somit sowohl ohne als auch mit Wasserbedeckung bilden.

Zu der Deutung der sogenannten fossilen Regentropfen als Gasspuren fühlte ich mich um so mehr veranlaßt, da ich beobachtete, daß die Wirkung des Regens auf die Oberfläche des feinen Sandes oder des Schlammes mit den sogenannten fossilen Regentropfen nur eine ganz entfernte Ähnlichkeit hat. Der Regen bringt hier viele unmittelbar nebeneinanderstehende unregelmäßige Vertiefungen und Erhöhungen hervor, während die fossilen Regentropfen kleine, kreisrunde Vertiefungen mit einer ziemlich scharfen Wulst, in einiger Entfernung voneinander liegend, darstellen, ganz gleich jenen Grübchen an

der Schlammoberfläche in meiner Flasche oder auf der Schmanthalde der Erdölbohrungen.

Zur Erklärung dieser Narben auf den Schichtflächen mußte früher vorausgesetzt werden, daß zur Zeit ihrer Entstehung das feine Sediment wenigstens vorübergehend trocken gelegt war, damit darauf der Regen wirken konnte, während nach meiner eingangs mitgeteilten Beobachtung solche Grübchen sowohl auf einer trocken gelegten Fläche als auch unter dem Wasser entstehen können. Es war in der Sedimentation eine Pause entstanden, während welcher die Gasbläschen aus dem vorhandenen Sediment emporstiegen und die Narben bildeten. Bei neuerlicher Zufuhr von Schlamm oder feinem Sand in Wasser wurde die narbige Schicht bedeckt. So konnten die Grübchen gut erhalten bleiben und sich an der Unterfläche der darüber abgelagerten Schichte die Abdrücke (Negative) bilden. Hingegen ist dies nicht so leicht möglich, wenn die Schichte mit den kleinen Grübchen trocken lag und dann von Wellen, welche das Deckmaterial brachten, gespült wurden. Man hat zwar auch beobachtet, daß Regentropfen eine ganz seichte Wasserschicht durchdringen und darunter in feinen Sedimenten Störungen an der Oberfläche hervorbringen können, welche jedoch mit den Grübchen, die bisher als fossile Regentropfen gedeutet wurden, nur ganz entfernte Ähnlichkeit besitzen.

Fallen vereinzelt Regentropfen direkt auf die Oberfläche eines feinen Sediments, so bringen sie zwar rundliche Vertiefungen hervor, doch das hieraus verdrängte Material zerstiëbt und bildet eine weiter ausgreifende, sehr flache Erhöhung mit rauher Oberfläche, welche jener des fossilen Regentropfens viel weniger ähnlich ist als jene, welche durch das Entweichen der Gasbläschen entsteht.

Das Voranstehende habe ich vor längerer Zeit niedergeschrieben; seine Veröffentlichung veranlassen zwei Publikationen, welche sich ebenfalls mit der Entstehung fossiler Regentropfen beschäftigen.

David Martin publizierte über »Impressions produites par les bulles d'air«,¹ die er in einem Straßeneinschnitt zwischen

¹ Bull. soc. géol. France, 1904, p. 50.

Cap und St. Marguerite bei Moulin Neuf (Frankreich) beobachtete, woselbst eine Pfütze mit feinem Bodenschlamm, reich an organischen Teilen, austrocknete. Letzterer entstieg beim Besonnen Blasen von Stecknadel- bis Haselnußgröße, etwa 12 bis 20 auf einem Quadratdezimeter, welche im Wasser auf der Schlammoberfläche hängen blieben. Der einsetzende Mistral bewegte das Wasser und die Blasen, ersteres verdunstete und die Schlammoberfläche war mit Näpfchen von 4 bis 12 *mm* Durchmesser und 2 bis 6 *mm* Tiefe bedeckt. Sie waren teils kreisrund, teils in der Richtung des Mistrals oval mit überhängender Wand und hatten einen wulstigen Rand. Diese Eindrücke glichen ganz den sogenannten fossilen Regentropfen in den Vogesensandsteinplatten.

Die Mitteilung D. Martin's bestätigt vollends meine durch längere Zeit hindurch angestellten Beobachtungen. Durch diese wiederholten und unter zum Teil verschiedenen Verhältnissen erhaltenen übereinstimmenden Ergebnisse gewinnt die Erklärung der sogenannten fossilen Regentropfen als Gasnarben sehr an Wahrscheinlichkeit; unter keiner Bedingung können sie auf die Wirkung der Regentropfen bezogen werden.

Vor kurzem kam mir eine von Wilhelm Bickel in Brotherode (Thüringen) verfaßte Broschüre: »Die Entstehung der sogenannten fossilen Regentropfen«¹ zu. Der Verfasser beantwortet diese Frage an der Hand seiner Fundstücke aus dem Rotliegenden Thüringens. Er lehnt zuerst den Zusammenhang dieser Erscheinung mit Regentropfen entschieden ab. Die Anschauung, daß diese Gebilde durch aufsteigende Luftbläschen entstanden seien, wie dies bereits Dr. Zimmermann annahm, findet Bickel ebenfalls nicht zutreffend; er findet in morphologischer Hinsicht zu wenig Ähnlichkeit mit jenen kugelförmigen (?) Höhlungen, die nach dem Zerplatzen der Luft- oder Gasblasen im Schlamm zurückbleiben. Der wesentliche Unterschied wird jedoch dadurch bedingt, daß Bickel die Abdrücke der Narben, also das Negativ, für sogenannte fossile Regentropfen hält, die auf der Unterseite der nächsthöheren Schichte auftreten. Die wenigen Gegendrucke -- also in unserem Sinne

¹ Selbstverlag des Verfassers, 1908.

die Positive — ließen nicht auf eine Entstehung durch Blasen schließen, denn sie waren eigentlich nie kugelrunde, sondern meist geringe, flache Eindrücke. Nun habe weder ich noch hat Martin »kugelrunde« Gasblasennarben gesehen, wir beide beobachteten sie als flache Eindrücke; Martin sagt, ihre Tiefe sei etwa halb so groß wie der Durchmesser.

Bickel erklärt seine sogenannten fossilen Regentropfen — das Negativ — damit, daß eine dicke und wahrscheinlich schwere Flüssigkeit sich an der Sohlfläche, also in der Schichtenfuge, der sie erzeugenden, noch nicht verhärteten Schicht tropfenförmig absetzte. Da er jedoch das Negativ erklärt, ich jedoch das Positiv dieser Bildungen behandle, so brauche ich die soeben mitgeteilte Hypothese nicht weiter kritisch zu erläutern. Es sei bloß noch bemerkt, daß Bickel die meisten sogenannten fossilen Regentropfen dort fand, wo die Walchienreste am meisten vorhanden sind und in dem Grade abnehmen, wie die Walchienvorkommen sich vermindern. Dieses Zusammenvorkommen dürfte nach Bickel's Hypothese schwer zu erklären sein, während es eine Stütze für meine Erklärung ist, da Walchien- und sonstige Reste der rotliegenden Flora doch leicht durch ihre Umwandlung Gasblasen veranlaßt haben können.

Die Bickel's Broschüre beigelegten vortrefflichen Photographien seines Beobachtungsmaterials beseitigen jeden Zweifel, daß er die Negative bespricht. Es steigt unwillkürlich der Wunsch auf, von manchen Platten, wie z. B. von der in Taf. I, III *a* und Taf. IV *b* abgebildeten, Abgüsse zu besitzen, welche die Übereinstimmung mit den Gasblasennarben herrlich zeigen würden. Insbesondere im letztgenannten Bilde treten die Abdrücke der die Narben umschließenden Wülste vortrefflich hervor, deren Erklärung die Tropfenhypothese Bickel's Schwierigkeit bereitet.

In morphologischer Hinsicht, selbstredend abgesehen von der Größe, haben die fossilen Gasnarben eine sehr große Ähnlichkeit mit den Kratern, insbesondere den kleineren des Mondes; diese scheinen durch gewaltige blasenartige Gasausbrüche entstanden zu sein, als die Mondkruste noch in teigartigem Zustande war, eine Anschauung, die bekanntlich auch

von anderen Geologen vertreten wurde. Je spezifisch leichter die eruptierten Gase waren, umso leichter konnten sie, nach den Gesetzen der kinetischen Gastheorie, vom Monde entfernt werden. Die mehr oder weniger regelmäßige Form des Ringwalles gestattet einen Schluß auf den Verlauf des Gasausbruches; erfolgt dieser allmählich, so ist der Ringwall kreisförmig und regelmäßig, wenn es gestattet ist, aus meinen Miniaturkratern in dem eingangs erwähnten Fläschchen einen Schluß auf das Große zu ziehen. Das häufige Fehlen der zentralen Kegel im Ringgebirge stimmt ebenfalls mit meinen Beobachtungen. War der Ausbruch heftiger, so erlitt die Regelmäßigkeit der Narbe, des Kraterbodens und des Walles verschiedene Störungen.
